

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет атомной энергетики и технологий
Кафедра «Физика и естественнонаучные дисциплины»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине «Химические реакторы»

Направления подготовки
«18.03.01. Химическая технология»

Основная профессиональная образовательная программа
«Химическая технология неорганических веществ»

Квалификация выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Заочная

Цель освоения дисциплины

Цель преподавания дисциплины является получение знаний, необходимых для плодотворной творческой деятельности бакалавра. Дисциплина «Химические реакторы» формируют технологическое мировоззрение бакалавров для их производственно-технологической и проектно-конструкторской профессиональной деятельности.

Задачи изучения дисциплины: Изучение основных принципов организации химического производства, его иерархической структуры, методы оценки эффективности производства; общие закономерности химических процессов; основные реакционные процессы и реакторы химической технологии. Бакалавр по дисциплине «Химические реакторы» должен решать профессиональные задачи в соответствии с производственно-технологической, научно-исследовательской, организационно-управленческой и проектной деятельностью.

Изучение дисциплины должно основываться на следующих профессиональных стандартах:

- 26.001. Специалист по обеспечению комплексного контроля производства наноструктурированных композиционных материалов;
- 26.004. Специалист по производству волокнистых наноструктурированных композиционных материалов.

Место дисциплины в структуре ООП ВО

Курс «Химические реакторы» связан с необходимостью знаний основ общей и неорганической химии, аналитической химии и физико-химических методов анализа, органической химии, широкое использование, которых не только даёт возможность наиболее точно выразить теоретические закономерности, но и является необходимым инструментом их установления. Теоретические знания и практические навыки, полученные студентами при изучении дисциплины «Химические реакторы», должны быть использованы в процессе изучения последующих дисциплин: «Оборудование производств неорганических веществ», «Технология минеральных удобрений, солей и щелочей», «Химическая технология неорганических веществ. Технология серы и серной кислоты», «Технология связанного азота».

После изучения дисциплины выпускники должны быть готовы к выполнению следующих трудовых функций:

- А/06.6. Разработка предложений по комплексному использованию сырья и утилизации отходов производства;
- D/01.6. Совершенствование технологии, механизация и автоматизация производственных процессов;
- А/01.6. Проведение анализа сырья, полуфабрикатов и готовой продукции производства наноструктурированных композиционных материалов.
- В/02.6. Проведение экспертизы технических документов производства наноструктурированных композиционных материалов на соответствие требованиям внутреннего рынка и экспортным требованиям.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины у студента формируются следующие компетенции:

– профессиональные

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-2	Способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности	З-ПК-2 Знать свойства химических элементов, соединений и материалов на их основе для соблюдения технологического регламента У-ПК-2 Уметь использовать знания свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач по выпуску продукции в строгом соответствии с техническими требованиями В-ПК-2 Владеть навыками разработки предложения по комплексному использованию сырья и утилизации отходов производства
ПК-7	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения	З-ПК-7 Знать технологии и системы экологического менеджмента при проведении испытаний с использованием технических средств У-ПК-7 Уметь выполнять работы по сбору и накоплению данных при разработке технологических процессов В-ПК-7 Владеть навыками выбора технических устройств и технологий с учетом экологических последствий их применения для подготовки проекта плана мероприятий по использованию сырья в дополнительных производственных целях

Задачи воспитания, реализуемые в рамках освоения дисциплин

Направление/цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебной дисциплины	Вовлечение в разноплановую внеучебную деятельность
В-14	формирование глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной специальности, ответственного отношения к профессиональной деятельности, труду	Использование воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для: - формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога), понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач. - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически, самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией	1. Организация научно-практических конференций и встреч с ведущими специалистами предприятий города и ветеранами атомной отрасли. 2. Организация и проведение предметных олимпиад и участие в конкурсах профессионального мастерства. 3. Участие в ежегодных акциях студенческих строительных

		результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости; - формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов.	отрядов
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------

Структура и содержание учебной дисциплины

Дисциплина преподается студентам в 7-ом семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 ак. часа.

Календарный план

№ Р а з д е л а	№ Т е м ы	Наименование раздела (темы) дисциплины	Виды учебной деятельности (в часах)					Аттеста- ция раздела (форма)	Макси- маль- ный балл за раздел
			Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	СРС		
1	1	Общие положения	10	2	-		8	УО, Зд, Зд,КР	25
	2	Реакторы с различными режимами движения среды	46	2	-	8	36		
2	3	Реакторы с различным тепловым режимом	44	2	-	-	42	Т	25
	4	Промышленные химические реакторы	44	2	-	-	42		
Вид промежуточной аттестации			144	8	-	8	128	Зачет с оценкой	50

Содержание лекционного курса

Темы лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Всего часов	Учебно- методическое обеспечение
1	2	3
Общие положения Классификация химических реакторов Основные требования к промышленным реакторам	2	[1-3]
Реакторы с различными режимами движения среды РИС периодический РИС непрерывного действия РИВ непрерывного действия	2	[1-3]
Реакторы с различным тепловым режимом Политропический режим Изотермический режим Адиабатический режим	2	[1-3]
Промышленные химические реакторы Реакторы для гомогенных процессов Реакторы для гетерогенных процессов	2	[1-3]

Перечень практических занятий

Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3
Расчет материального баланса	4	[4]
Расчет константы скорости химической реакции	4	[4]

Задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3
Общие положения Анализ процессов в химическом реакторе	8	[1-3, 5]
Реакторы с различными режимами движения среды Каскад РИС Реакторы полунепрерывного действия Сравнение реакторов различных типов Математическое моделирование процессов в химических реакторах Классификация математических моделей процессов в химических реакторах Неидеальные режимы Оптимизация химического процесса в реакторах	36	[1-3, 5]
Реакторы с различным тепловым режимом Классификация реакторов с различным тепловым режимом. Уравнение теплового баланса. Условия поддержания устойчивого режима работы реакторов. Выбор типа реактора с учетом теплового режима. Создание оптимального теплового режима в реакторе	42	[1-3, 5]
Промышленные химические реакторы Реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой. Реакторы для газожидкостных гетерогенных процессов. Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов. Блочные катализаторы	42	[1-3, 5]

Образовательные технологии

Реализация освоения данной дисциплины обеспечивается доступом каждого обучающегося к базам данных и библиотечным фондам, формируемым по полному перечню дисциплин (модулей) основной образовательной программы. В БИТИ НИЯУ МИФИ действует компьютерные классы, в которых проводятся занятия по различным дисциплинам, в том числе и классы обеспечены доступом к сети Интернет для самостоятельной подготовки студентов. На кафедре имеются компьютеры с возможностью работы в специальных программах и доступа к современным профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам, к таким как база данных периодических изданий. Целью при этом является выработка у студентов навыков и компетенций, позволяющих самостоятельно вести исследовательскую и научно-педагогическую работу.

Практическая подготовка при реализации учебной дисциплины организуется путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка также включает в себя занятия лекционного типа, которые предусматривают передачу учебной информации обучающимся, необходимой для последующего выполнения работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций с использованием ПК и компьютерного проектора, практических занятий, с использованием ПК при проведении расчетов. Самостоятельная работа студентов проводится под руководством преподавателей, с оказанием консультаций и помощи при подготовке к контрольным работам, выполнении домашних заданий.

Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

№ п/п	Наименование контролируемых разделов (темы)	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Наименование оценочного средства
Входной контроль			
1	Входной контроль	З-ПК-2 Знать свойства химических элементов, соединений и материалов на их основе для соблюдения технологического регламента У-ПК-2 Уметь использовать знания свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач по выпуску продукции в строгом соответствии с техническими требованиями	Вопросы входного контроля (устно)
Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости			
1	Общие положения	В-ПК-2 Владеть навыками разработки предложения по комплексному использованию сырья и утилизации отходов производства	Решение задач (письменно)
	Реакторы различными режимами движения среды	В-ПК-7 Владеть навыками выбора технических устройств и технологий с учетом экологических последствий их применения для подготовки проекта плана мероприятий по использованию сырья в дополнительных производственных целях З-ПК-7 Знать технологии и системы	Тест (письменно) УО

		экологического менеджмента при проведении испытаний с использованием технических средств У-ПК-7 Уметь выполнять работы по сбору и накоплению данных при разработке технологических процессов	
2	Реакторы с различным тепловым режимом	В-ПК-2 Владеть навыками разработки предложения по комплексному использованию сырья и утилизации отходов производства В-ПК-7 Владеть навыками выбора технических устройств и технологий с учетом экологических последствий их применения для подготовки проекта плана мероприятий по использованию сырья в дополнительных производственных целях З-ПК-7 Знать технологии и системы экологического менеджмента при проведении испытаний с использованием технических средств У-ПК-7 Уметь выполнять работы по сбору и накоплению данных при разработке технологических процессов	Решение задач (письменно)
	Промышленные химические реакторы		Тест (письменно) УО
Промежуточная аттестация			
1	Зачет с оценкой	ПК-2, ПК-7	Тест (письменно)

Перечень основных показателей оценки результатов, элементов практического опыта, знаний и умений, подлежащих входному, текущему контролю и промежуточной аттестации

№ п/п	Наименование контролируемых разделов (темы)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
Входной контроль			
1	Входной контроль	З-ПК-2 Знать свойства химических элементов, соединений и материалов на их основе для соблюдения технологического регламента У-ПК-2 Уметь использовать знания свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач по выпуску продукции в строгом соответствии с техническими требованиями	
Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости			
1	Общие положения	В-ПК-2 Владеть навыками разработки предложения по комплексному использованию сырья и утилизации отходов производства В-ПК-7 Владеть навыками выбора технических устройств и технологий с учетом экологических последствий их	Знает классификацию химических реакторов и основные требования к промышленным реакторам, РИС периодический, РИС непрерывного действия,
	Реакторы с различными режимами движения среды		

		<p>применения для подготовки проекта плана мероприятий по использованию сырья в дополнительных производственных целях</p> <p>З-ПК-7 Знать технологии и системы экологического менеджмента при проведении испытаний с использованием технических средств</p> <p>У-ПК-7 Уметь выполнять работы по сбору и накоплению данных при разработке технологических процессов</p>	<p>РИВ непрерывного действия, реакторы полунепрерывного действия.</p> <p>Умеет пользоваться справочными данными для определения изменения степени превращения в реакторах идеального смешения (РИС) и реакторах идеального вытеснения (РИВ), скорости химических реакций в РИС и РИВ</p> <p>Владеет методикой расчета объема химических реакторов, основных параметров РИВ и РИС</p>
2	<p>Реакторы с различным тепловым режимом</p> <p>Промышленные химические реакторы</p>	<p>В-ПК-2 Владеть навыками разработки предложения по комплексному использованию сырья и утилизации отходов производства</p> <p>В-ПК-7 Владеть навыками выбора технических устройств и технологий с учетом экологических последствий их применения для подготовки проекта плана мероприятий по использованию сырья в дополнительных производственных целях</p> <p>З-ПК-7 Знать технологии и системы экологического менеджмента при проведении испытаний с использованием технических средств</p> <p>У-ПК-7 Уметь выполнять работы по сбору и накоплению данных при разработке технологических процессов</p>	<p>Знает классификацию промышленных реакторов, классификацию химических реакторов и основные требования, предъявляемые к ним, реакторы идеального вытеснения и смешения, сравнение их эффективности, обзор промышленных типов реакторов.</p> <p>Умеет использовать справочные материалы для определения типа промышленного реактора к технологическому процессу, параметров химических реакторов</p> <p>Владеет информацией о принципах действия промышленных реакторов, методикой составления функциональной, структурной, операторной и технологической схемы</p>
	Зачет с оценкой	ПК-2,7	<p>Демонстрирует основные знания и умения в соответствии с разделами 1, 2.</p>

Оценочные средства

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	Входной контроль	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Устный опрос - УО
2	Практическое занятие	Решение задач реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей.	Решение задач - Зд
3	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу	Контрольная работа - КР
4	Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Тесты - Т

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Вопросы входного контроля (УО):

1. Классификация химических реакций
2. Гомогенные реакции и их скорость
3. Гетерогенные реакции и их скорость
4. Экзотермические химические реакции
5. Эндотермические химические реакции
5. Закон действия масс. Константа скорости химических реакции
6. Обратимые и необратимые химические реакции
7. Константа равновесия химических реакций
8. Влияние температуры, давления и концентрации на скорость химических реакций
9. Полимерные материалы
10. Классификация минеральных удобрений

Задачи для выполнения практических занятий:

1. Определить объем реактора идеального смешения для обратимой реакции $2A \leftrightarrow R+S$, протекающей без изменения объема реакционной массы, при начальной концентрации исходного вещества $C_{A,0} = 1,4 \text{ кмоль/м}^3$, при степени превращения $x_A = 0,76$ от равновесной, порядок реакции $n=2$. Объемный расход исходного вещества $G_V =$

4,9 м³/ч; константа скорости прямой реакции $k_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{с})$; константа равновесия $K_p = 9$; равновесная степень превращения $x_A^* = 0,86$.

2. Составить материальный баланс обжига колчедана, содержащего 38 % серы и 2 % влаги. Концентрация SO₂ в сухом обжиговом газе - 9,4 %, SO₃ - 0,46%. Содержание серы в огарке - 2 %.

3. При исследовании реакции взаимодействия трифенилметилхлорида с метанолом $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{CCl} + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow (\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{COCH}_3 + \text{HCl}$ в безводном бензоле в присутствии пиридина при температуре 25°C, начальной концентрации трифенилметилхлорида 0,114 кмоль·м⁻³ и начальной концентрации метанола 0,08 кмоль·м⁻³ были получены следующие данные:

Время $\tau \cdot 10^{-4}$, с	1,004	1,038	2,502	2,549	2,657	6,85	8,58	9,01
Количество трифенилметилхлорида, кмоль·м ⁻³	0,0092	0,015	0,0136	0,0193	0,0213	0,0325	0,0343	0,0351

Контрольные задания при выполнении контрольной работы выполняются индивидуально по вариантам, соответствующим последней цифре шифра студента (табл. 1). Варианты контрольных заданий:

Варианты контрольных заданий

№ Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ Задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	30
	41	42								

1. Общие сведения о химических реакторах.
2. Классификация химических реакторов по организации процесса в аппарате.
3. Классификация химических реакторов по тепловому режиму
4. Классификация химических реакторов по режиму движения компонентов
5. Основные требования, предъявляемые к промышленным реакторам
6. Принцип действия реактора идеального смешения периодического действия.
7. Принцип действия реактора идеального смешения непрерывного действия.
8. Принцип действия реактора идеального вытеснения непрерывного действия.
9. Реакторы полунепрерывного действия.
10. Каскад реакторов идеального смешения
11. Сравнение реакторов различных типов.
12. Материальный баланс химических реакторов
13. Математическое моделирование химических реакторов.
14. Классификация химических реакторов и их математических моделей
15. Анализ процессов в химических реакторах: условия процесса, свойства составляющих процесса и показатели процесса в химических реакторах
16. Анализ процессов в химических реакторах: особенности процесса и режима

17. Классификация реакторов с различным тепловым режимом.
18. Политропический режим.
19. Изотермический режим.
20. Адиабатический режим.
21. Уравнение теплового баланса.
22. Условия поддержания устойчивого режима работы реакторов.
23. Параметрическая чувствительность.
24. Выбор типа реактора с учетом теплового режима.
25. Создание оптимального теплового режима в реакторе.
26. Емкостные периодические аппараты: реакторы, используемые для органического синтеза.
27. Емкостные аппараты: реактор, используемый в производстве красок.
28. Емкостные аппараты: реакторы, используемые в производстве полимеров.
29. Емкостные аппараты: реакторы, используемые в производстве органического синтеза.
30. Трубчатые аппараты: реактор, используемый в производстве 3-хлоропрена.
31. Трубчатые аппараты: реактор, используемый в производстве соляной кислоты.
32. Трубчатые аппараты: реактор, используемый для получения коксового газа.
33. Реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой: реактор, используемый для очистки природного газа от серосодержащих соединений.
34. Реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой: реактор, используемый для кислотного разложения апатита.
35. Реактор для гетерогенных процессов в псевдоожиженном слое.
36. Реакторы для газожидкостных гетерогенных процессов: прямоточное движение сплошных потоков газа и жидкости.
37. Реакторы для газожидкостных гетерогенных процессов: противоточное движение сплошных потоков газа и жидкости.
38. Реакторы для газожидкостных гетерогенных процессов: насадочные реакторы.
39. Реакторы для газожидкостных гетерогенных процессов: барботаж газа через жидкость.
40. Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов.
41. Определить объем реактора идеального смешения для получения максимального количества продукта R по реакции $A \rightarrow R \rightarrow S$, а также определить селективность и производительность по продукту R. Объемный расход исходного вещества $GV = 17 \text{ м}^3/\text{ч}$; константа скорости реакций $k_1 = 4 \text{ мин}^{-1}$ и $k_2 = 1,5 \text{ мин}^{-1}$; начальная концентрация исходного вещества $CA_0 = 4,8 \text{ моль/л}$.
42. При исследовании реакции взаимодействия трифенилметилхлорида с метанолом

Тестовые задания:

1. Чему равен порядок n реакции, протекающей в реакторах идеального смешения непрерывного и идеального вытеснения, включенных параллельно, если при одинаковых их объёмах нагрузки соотносятся как

$$\frac{x_A}{(1 - x_A) \cdot \ln(1 - x_A)} ?$$

- 1) $n = 1$;
- 2) $n = 0$;
- 3) данных недостаточно;
- 4) $n = 0,5$;
- 5) $n = 2$

2. В каких случаях оправдано проведение реакции при избытке одного из компонентов?

1) если реакция обратимая, один из компонентов (более дешёвый или более доступный) берется в избытке для повышения степени превращения другого (более ценного) компонента;

2) избыток одного из компонентов не оправдан, так как для наилучшего протекания реакции необходимо брать компоненты в стехиометрических количествах;

3) избыток одного из компонентов уместен в случае, когда другой компонент ядовит или когда продукты реакции повышено токсичны;

4) когда один из компонентов токсичен или когда продукты реакции ядовиты, реагенты следует брать строго в стехиометрических количествах.

3. Чему равен порядок n реакции, протекающей в реакторах идеального смешения непрерывного и идеального вытеснения, соединенных параллельно, если одинаковы объёмы реакторов, объёмные скорости потока в них и достигаемые степени превращения?

- 1) $n = 1$;
- 2) $n = 0$;
- 3) данных недостаточно;
- 4) $n = 0,5$;
- 5) $n = 2$

4. Экзотермическая реакция осуществлена в адиабатическом режиме в двух реакторах – с неподвижным и с псевдооживленным слоем катализатора, – до достижения одинаковой степени превращения. Температура на входе в слой катализатора – одинаковая. Каковы температуры на выходе из слоя в обоих случаях?

- 1) в неподвижном слое выше;
- 2) в неподвижном слое ниже;
- 3) температуры одинаковы;
- 4) в псевдооживленном слое выше.

5. С какой целью осуществляют теоретическую оптимизацию процесса:

- 1) для выбора наилучшего ввода реагента в реактор;

- 2) для эффективного отвода тепла из зоны реакции;
- 3) для организации процесса в реакторе, чтобы максимально приблизиться к оптимальному температурному режиму;
- 4) чтобы сместить равновесие реакции;
- 5) чтобы определить необходимый избыток реагента.

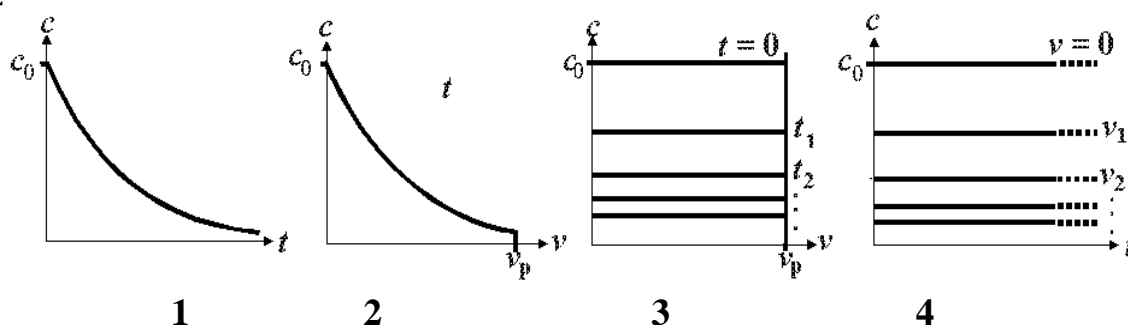
6. Какие из приведенных уравнений можно использовать для расчета времени пребывания реагентов в реакторе идеального вытеснения при проведении реакции первого порядка $A \rightarrow R$?

1) $\tau = \frac{c_{A0} x_A}{k}$;	4) $\tau = -\frac{1}{k} \ln(1 - x_A)$;	7) $\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{c_{A0}}{c_A}$;
2) $\tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-W_A}$;	5) $\tau = \frac{c_{A0} x_A}{-W_A}$;	8) $\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{1 - x_A}$;
3) $\tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kc_A}$;	6) $\tau = \frac{x_A}{k(1 - x_A)}$;	9) $\tau = \int_{c_{A0}}^{c_A} \frac{dc_A}{W_A}$.

7. Какими уравнениями можно пользоваться для расчета времени пребывания реагентов в реакторе идеального смешения непрерывном при проведении необратимой реакции второго порядка $A + B = R + S$?

1) $\tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kc_A c_B}$;	4) $\tau = \frac{x_A}{kc_A^2}$;	7) $\tau = \frac{c_{A0} x_A}{-W_B}$;
2) $\tau = \frac{c_{A0} x_A}{kc_A c_B}$;	5) $\tau = \frac{c_{A0} x_A}{-W_A}$;	8) $\tau = \frac{c_{B0} x_B}{-W_B}$.
3) $\tau = \frac{c_{B0} x_B}{kc_A c_B}$;	6) $\tau = \frac{x_A}{k(1 - x_A)}$;	

8. Изменение концентрации исходного реагента c во времени t и по объему v в реакторе идеального вытеснения имеет вид:



9. В изотермическом реакторе идеального смешения непрерывном проводится реакция первого порядка $A \rightarrow R$. Какие из приведенных уравнений пригодны в этом случае для расчета времени пребывания реагентов?

1) $\tau = \frac{c_{A0} \cdot x_A}{-W_A}$;	4) $\tau = \frac{x_A}{k(1 - x_A)}$;	7) $\tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kc_A}$;
2) $\tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{W_A}$;	5) $\tau = \frac{c_{A0} \cdot x_A}{k}$;	8) $\tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kc_A^2}$;
6) $\tau = \frac{c_{A0} - c_A}{-W_A}$;		

$$3) \tau = \frac{c_{A0} - c_A}{k \cdot c_A};$$

$$9) \tau = -\frac{1}{k} \ln(1 - x_A).$$

10. Какие из приведенных уравнений пригодны для расчета времени пребывания в изотермическом реакторе идеального вытеснения при проведении необратимой реакции второго порядка $A + B = R + S$ (реагенты A и B взяты в стехиометрическом соотношении).

$$1) \tau = \frac{c_{A0} \cdot x_A}{k \cdot c_A \cdot c_B};$$

$$4) \tau = \frac{c_{A0} \cdot x_A}{-W_A};$$

$$7) \tau = c_{B0} \int_0^{x_B} \frac{dx_B}{-W_B};$$

$$2) \tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{k \cdot c_A^2};$$

$$5) \tau = c_{B0} \int_0^{x_B} \frac{dx_B}{k \cdot c_B^2};$$

$$8) \tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-W_A};$$

$$3) \tau = \frac{1}{k} \left(\frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} \right);$$

$$6) \tau = \frac{1}{k} \ln \frac{c_{A0}}{c_A};$$

$$9) \tau = -\frac{1}{k} \ln(1 - x_A).$$

11. Какую зависимость надо построить для нахождения времени реакции в реакторе идеального вытеснения и реакторе идеального смешения непрерывном графическим способом?

$$1) \frac{1}{-W_A} = f(c_A);$$

$$3) -W_A = f(x_A);$$

$$5) \frac{1}{-W_A} = f(x_A);$$

$$2) -W_A = f(c_A);$$

$$4) x_A = f(-W_A);$$

$$6) x_A = f(c_A).$$

12. Какие из представленных уравнений используются в различных случаях как математическая модель процесса в изотермическом реакторе идеального вытеснения?

$$1) \frac{c - c_{A0}}{\tau} = W_A;$$

$$4) \frac{dx_A}{d\tau} = -\frac{W_A}{c_{A0}}$$

$$6) \tau = \frac{x_A}{-W_A};$$

$$2) \frac{dc_A}{d\tau} = W_A$$

при $\tau=0$ $x_A=0$;

$$7) \tau = -\int_{c_{A0}}^{c_A} \frac{dc_A}{W_A}.$$

при $\tau=0$ $c_A = c_{A0}$;

$$5) u \frac{dc_A}{dl} = W_A$$

при $l=0$ $c_A = c_{A0}$;

$$3) \tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kc_A};$$

13. Какие из приведенных уравнений пригодны для расчета времени пребывания в изотермическом реакторе идеального вытеснения при проведении простой необратимой реакции второго порядка $A + B = R + S$?

$$1) \tau = c_{B0} \int_0^{x_B} \frac{dx_B}{kc_B^2};$$

$$3) \tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kc_A^2};$$

$$5) \tau = \frac{c_{A0} \cdot x_A}{-W_A};$$

$$2) \tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kc_A c_B};$$

$$4) \tau = c_{A0} \frac{x_A}{kc_A c_B};$$

$$6) \tau = c_{B0} \int_0^{x_B} \frac{dx_B}{kc_A c_B}.$$

14. Какими уравнениями можно пользоваться для расчета времени реакции в изотермическом реакторе идеального смешения непрерывном при проведении необратимой реакции второго порядка $A + B = R + S$?

$$\begin{array}{lll}
1) \tau = \frac{c_{B0} x_B}{k c_A c_B}; & 4) \tau = c_{B0} \int_0^{x_B} \frac{dx_B}{k c_B^2}; & 7) \tau = c_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{k c_A c_B}; \\
2) \tau = \frac{c_{A0} \cdot x_A}{-W_A}; & 5) \tau = \frac{c_{B0} x_B}{k c_B^2}; & 8) \tau = \frac{c_{A0} x_A}{k c_A^2}; \\
3) k \tau c_{A0} = \frac{x_A}{(1 - x_A)^2}; & 6) \tau = \frac{1}{k} \left(\frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} \right); & 9) \tau = -\frac{1}{k} \ln(1 - x_A).
\end{array}$$

15. Из приведенных зависимостей найдите все уравнения, которые в различных случаях используются в качестве математического описания процесса в изотермическом реакторе идеального смешения непрерывном:

$$\begin{array}{lll}
1) \frac{dc_A}{d\tau} = W_A; & 4) \frac{x}{\tau} = -W_A; & 7) \tau = -\frac{1}{k} \ln(1 - x_A); \\
2) \tau = \frac{1}{k} \ln \frac{c_{A0}}{c_A}; & 5) \tau = \frac{c_{A0} \cdot x_A}{-W_A}; & 8) \tau = \frac{c_{A0} x_A}{k c_A}; \\
3) \tau = \frac{c_A - c_{A0}}{W_A}; [& 6) \tau = \frac{x_A}{k(1 - x_A)}; & 9) k \tau = \frac{x_A}{1 - x_A}.
\end{array}$$

Тестовые задания к зачету:

Вариант №1

1. Режим работы реактора называют стационарным,

а) если протекание химической реакции в произвольно выбранной точке характеризуется разными значениями концентраций реагентов или продуктов, температуры, скорости и других параметров процесса в любой момент времени;

б) если протекание химической реакции в произвольно выбранной точке характеризуется одинаковыми значениями концентраций реагентов или продуктов, температуры, скорости и других параметров процесса в объеме аппарата;

в) если протекание химической реакции в произвольно выбранной точке характеризуется одинаковыми значениями концентраций реагентов или продуктов, температуры, скорости и других параметров процесса в любой момент времени;

г) если протекание химической реакции в произвольно выбранной точке характеризуется разными значениями концентраций реагентов или продуктов, температуры, скорости и других параметров процесса в объеме аппарата.

Вариант №2

1. В каких реакторах (идеального действия) все реагенты вводят до начала реакции, а все продукты выводят из него только по окончании процесса?

- а) РИС-Н; б) РИВ-П;
в) РИС-П; г) РИВ.

Вариант №1

2. Действительное время пребывания частиц в РИС-Н является величиной

- а) неслучайной величиной; б) минимальной величиной;
в) максимальной величиной; г) случайной.

Вариант №2

2. Как в РИС-Н во всех точках реакционного объема меняются параметры, характеризующие процесс (концентрация реагентов, степень превращения, скорость реакции, температура и др.)?

- а) выравниваются постепенно; б) мгновенно выравниваются;
- в) уменьшаются; г) увеличиваются.

Вариант №1

3. Как называется реактор (идеального действия), который представляет собой длинный канал, через который реакционная смесь движется в поршневом режиме

- а) РИС-Н; б) РИВ-П;
- в) РИС-П; г) РИВ.

Вариант №2

3. В каждый данный момент времени в РИС-П параметры (концентрация реагентов, продуктов, скорость реакции и т.д.) в объеме реактора

- а) различные; б) одинаковые;
- в) увеличиваются; г) сначала уменьшаются, затем увеличиваются.

Вариант №1

4. Емкостные аппараты с перемешиванием механической мешалкой или циркуляционным насосом, называются

- а) реакторы вытеснения; б) адиабатические реакторы;
- в) реакторы непрерывного действия; г) реакторы смешения.

Вариант №2

4. Чем достигается понижение энергетических затрат?

- а) повышением гидравлического сопротивления реактора и упрощением конструкции;
- б) повышением гидравлического сопротивления реактора;
- в) снижением гидравлического сопротивления реактора и усложнением конструкции;
- г) снижением гидравлического сопротивления реактора и упрощением конструкции.

Вариант №1

5. Какая причина отклонения в реальных реакторах от идеального режима вызвана из-за конфигурации реакционного пространства отсутствием одинаковой доступности реакционной смеси к любой точки реактора?

- а) застойные зоны;
- б) циркуляционные потоки;
- в) неоднородность распределения потока;
- г) распределение времени пребывания.

Вариант №2

5. Режим работы реактора называют нестационарным,

- а) если в выбранной точке происходят изменения параметров химического процесса по объему реактора по тому или иному закону;
- б) если в произвольно выбранной точке происходят изменения параметров химического процесса во времени по тому или иному закону;

в) если в произвольно выбранной точке не происходят изменения параметров химического процесса во времени по тому или иному закону;

г) если в произвольно выбранной точке не происходят изменения параметров химического процесса по объему реактора по тому или иному закону.

Вариант №1

6. В каких реакторах все отдельные стадии процесса химического превращения вещества (подача реагирующих веществ, химическая реакция, вывод готового продукта) осуществляются параллельно, одновременно?

- а) в реакторах непрерывного действия;
- б) в реакторах периодического действия;
- в) в реакторах полунепрерывного (полупериодического) действия;
- г) в реакторах идеального смешения.

Вариант №2

6. Трубчатые аппараты, имеющие вид удлиненного канала называются

- а) реакторы вытеснения;
- б) адиабатические реакторы;
- в) реакторы непрерывного действия;
- г) реакторы смешения.

Вариант №1

7. В разные моменты времени в РИС-П условия (концентрация реагентов, продуктов, скорость реакции и т.д.)

- а) различные;
- б) одинаковые;
- в) увеличиваются;
- г) сначала уменьшаются, затем увеличиваются.

Вариант №2

7. В каких реакторах все отдельные стадии протекают последовательно, в разное время

- а) в реакторах непрерывного действия;
- б) в реакторах периодического действия;
- в) в реакторах полунепрерывного (полупериодического) действия;
- г) в реакторах идеального смешения.

Вариант №1

8. Реакторы, в которых тепловой эффект химической реакции частично компенсируется теплообменом с окружающей средой, а частично расходуется на внутренний теплообмен, называются

- а) адиабатическими реакторами;
- б) реакторами с промежуточным тепловым режимом;
- в) изотермическими реакторами;
- г) реакторами смешения.

Вариант №2

8. Какая причина отклонения в реальных реакторах от идеального режима вызвана неравномерностью входа реакционной смеси в реактор?

- а) застойные зоны;
- б) циркуляционные потоки;
- в) неоднородность распределения потока;

г) распределение времени пребывания.

Вариант №1

9. Выберите ответ на вопрос: какие требования предъявляются к химическим реакторам?

а) максимальная производительность и интенсивность работы, высокий выход продукта и наибольшая селективность процесса, максимальные энергетические затраты на перемешивание и транспортировку материалов через реактор, легкая управляемость и безопасность работы, низкая стоимость изготовления реактора и его ремонта;

б) максимальная производительность и интенсивность работы, высокий выход продукта и наибольшая селективность процесса, минимальные энергетические затраты на перемешивание и транспортировку материалов через реактор, легкая управляемость и безопасность работы, высокая стоимость изготовления реактора и его ремонта;

в) максимальная производительность и интенсивность работы, высокий выход продукта и наибольшая селективность процесса, минимальные энергетические затраты на перемешивание и транспортировку материалов через реактор, легкая управляемость и безопасность работы, низкая стоимость изготовления реактора и его ремонта;

г) максимальная производительность и интенсивность работы, высокий выход продукта и наибольшая селективность процесса, минимальные энергетические затраты на перемешивание и транспортировку материалов через реактор, легкая управляемость и безопасность работы.

Вариант №2

9. Реакторы, в которых отсутствует теплообмен с окружающей средой, называются

а) адиабатическими реакторами;

б) реакторами с промежуточным тепловым режимом;

в) изотермическими реакторами;

г) реакторами смешения.

Вариант №1

10. Для каких процессов предназначен, реактор, изображенный на рисунке?



а) реакторы для гомогенных процессов;

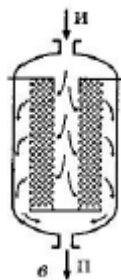
б) реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой;

в) реакторы для газо-жидкостных гетерогенных процессов;

г) реакторы для гетерогенно-каталитических процессов.

Вариант №2

10. Для каких процессов предназначен, реактор, изображенный на рисунке?



- а) реакторы для гомогенных процессов;
- б) реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой;
- в) реакторы для газо-жидкостных гетерогенных процессов;
- г) реакторы для гетерогенно-каталитических процессов.

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала оценки входного контроля:

Зачтено: Задание выполнено верно, сдано в установленные сроки

Не зачтено: Задание не выполнено, выполнено с ошибками, которые требуется исправить, или сдано после установленного срока

Шкала оценки, задач, теста, контрольной работы (в процентах):

Проценты	Требования к знаниям
100-85	Ответы на поставленные вопросы полные, четкие и развернутые. Решения задач логичны, доказательны и демонстрируют аналитические и творческие способности студента.
84-70	Даются полные ответы на поставленные вопросы. Показано умение выделять причинно-следственные связи. При решении задач допущены незначительные ошибки, исправленные с помощью «наводящих» вопросов преподавателя.
69-60	Ответы на вопросы и решения поставленных задач недостаточно полные. Логика и последовательность в решении задач имеют нарушения. В ответах отсутствуют выводы.

Оценки *в баллах* высчитываются путем произведения величины выставленного процента для конкретного вида текущего контроля на предварительно выделенное для него количество баллов (в пределах раздела).

Оценивание студента **на зачете с оценкой** по дисциплине «Химические реакторы»:

Баллы (итоговой рейтинговой оценки)	Освоение компетенций	Требования к знаниям
100-85	Продвинутый уровень	Ответы на поставленные вопросы полные, четкие и развернутые. Решения задач логичны, доказательны и демонстрируют аналитические и творческие способности студента.
84-70	Средний уровень	Даются полные ответы на поставленные вопросы. Показано умение выделять причинно-следственные связи. При решении задач допущены незначительные ошибки, исправленные с помощью «наводящих» вопросов преподавателя.
69-60	Базовый уровень	Ответы на вопросы и решения поставленных задач недостаточно полные. Логика и последовательность в решении

		задач имеют нарушения. В ответах отсутствуют выводы.
--	--	------------------------------------------------------

Студент, получивший менее 60% от максимального балла за раздел дисциплины или промежуточную аттестацию, считается неаттестованным по данной дисциплине.

Итоговая оценка выставляется путем перевода набранных баллов в соответствии со следующей таблицей:

Оценка по 5-балльной шкале	Сумма баллов за разделы и экзамен	Оценка ECTS
5 – «отлично»	90-100	A
4 – «хорошо»	85-89	B
	75-84	C
	70-74	D
3 – «удовлетворительно»	65-69	
	60-64	E
2 – «неудовлетворительно»	Менее 60	F

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

Основная литература

1. Корытцева А.К., Петьков В.И. Химические реакторы: Введение в теорию и практику : учебное пособие. - СПб : Издательство «Лань», 2019. - 112 с. — Режим доступа : <https://e.lanbook.com/reader/book/113903/#109>
2. Попов Ю. В. Химические реакторы (Теория химических процессов и реакторов) : учебное пособие. - Волгоград : ВолгГТУ, 2015. - 240 с. — Режим доступа : <https://e.lanbook.com/reader/book/157211/#3>

Дополнительная литература

3. Баранов Д.А. Процессы и аппараты химической технологии : учебник. - СПб : Издательство «Лань», 2020. - 408 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/130186/#4>
4. Зубова Н.Г. Химические реакторы / Метод. указания к выполнению практических работ 1, 2, 3. Апробация, 2020.
5. Журнал «Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ». - Режим доступа : <https://e.lanbook.com/journal/2484>

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Процесс реализации образовательной программы обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения.

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Лекционные занятия проводятся в специализированных аудиториях, оснащенных мультимедийным оборудованием. Практические занятия проводятся в этих же аудиториях с посещением лабораторий, оснащенных стандартными комплектами отечественных и зарубежных приборов и установок. Мультимедийный курс лекций, видеофильмы, макеты и плакаты.

Учебно-методические рекомендации для студентов

1. Указания для прослушивания лекций

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов).

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

2. Указания для участия в практических занятиях

Перед посещением практических занятий уяснить тему и самостоятельно изучить связанные с ней понятия и методы решения задач.

Перед решением задач активно участвовать в обсуждении с преподавателем основных понятий, связанных с темой практического занятия.

В процессе решения задач вести дискуссию с преподавателем о правильности применения методов их решения.

По возможности самостоятельно доводить решение предлагаемых задач до окончательного итога.

В конце практического занятия при необходимости выяснить у преподавателя неясные вопросы.

Основные результаты выполнения работы необходимо распечатать.

3. Указания для выполнения самостоятельной работы

Получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

Подготовить ответы на контрольные вопросы.

Методические рекомендации для преподавателей

1. Указания для проведения лекций

На первой вводной лекции сделать общий обзор содержания курса и отметить новые методы и подходы к решению задач, рассматриваемых в курсе, довести до

студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия. Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия. Раскрывая содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов.

Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя, категориальный аппарат. В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного практического занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить с докладами и рефератами.

На последней лекции уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе.

2. Указания для проведения практических занятий

Четко обозначить тему практического занятия.

Обсудить основные понятия, связанные с темой практического занятия.

В процессе решения задач вести дискуссию со студентами о правильности применения теоретических знаний.

Отмечать студентов, наиболее активно участвующих в решении задач и дискуссиях.

В конце практического занятия задать аудитории несколько контрольных вопросов.

3. Указания по контролю самостоятельной работы студентов

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе.

При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со

студентами основных теоретических положений.

С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ и учебным планом основной образовательной программы по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

Рабочую программу составил: доцент Зернышкина А.А.

Рецензент: доцент Герасимова В.М.

Программа одобрена на заседании УМКН 18.03.01 «Химическая технология».

Председатель учебно-методической комиссии Чернова Н.М.